



SBSI



انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

Evaluation of the resistance of foreign sugar beet cultivars to *Rhizoctonia solani* induced root and crown rot under artificial inoculation conditions

Ghasem Parmoon¹, Mehdi Hasani^{2*}, Mahyar Sheikholeslami Aleaqa³, Masoud Ahmadi², Mozhdeh Kakueinezhad²

(Received: 5 June. 2026; Accepted: 24 August. 2026)

How to cite this article:

Parmoon Gh, Hasani M, Sheikholeslami Aleaqa M, Ahmadi M, Kakueinezhad M. Evaluation of the resistance of foreign Sugar Beet cultivars to *Rhizoctonia solani* induced root and crown rot under artificial inoculation conditions. Journal of Sugar Beet. 2026; (41)2. 235-250. (In Persian with English abstract). DOI: 10.22092/jsb.2026.373027.1410

Extended Abstract

Introduction

Rhizoctonia root and crown rot, caused by the soil-borne fungus *Rhizoctonia solani*, is one of the major constraints to sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production in Iran. Worldwide, more than twenty fungal species have been identified as causal agents of sugar beet root rot, whereas more than fourteen species have been reported in Iran. Although integrated disease management practices, including crop rotation and fungicide application, can reduce disease incidence and severity, substantial yield losses continue to occur in many sugars' beet-growing regions. Consequently, the development and cultivation of resistant cultivars have become one of the most effective, economical, and environmentally sustainable strategies for managing *Rhizoctonia* root and crown rot, providing a practical alternative to intensive chemical and cultural control measures.

Materials and Methods

Six sugar beet cultivars were evaluated under controlled microplot conditions over two consecutive growing seasons (2022 and 2023). The plant materials consisted of four foreign cultivars (F-21444, F-21446, F-21448, and F-21439), one resistant control cultivar (F-21436), and one susceptible Iranian control cultivar (Sharif). The experiment was conducted in a randomized complete block design (RCBD) with four replications. In April of each year, seeds of each cultivar were sown in four 2-m-long rows within the microplots. At the 6-8-leaf stage,

plants were artificially inoculated with *Rhizoctonia solani* isolate 133 using sterilized corn kernels colonized by the pathogen as the inoculum. Approximately one month after inoculation, when disease severity in the susceptible control reached a level suitable for evaluation, roots were harvested and assessed. Disease severity was recorded, and the disease index (DI) was subsequently calculated for each cultivar.

Results and Discussion

According to the analysis of variance, differences among the sugar beet cultivars in root number, disease index (DI), and harvest index (HI) were not significant during the first growing season because of the high disease severity. In the second growing season, root number also did not differ significantly among cultivars, whereas significant differences were detected for both the disease index and harvest index at the 1% significant level ($P < 0.01$). The mean disease index across all cultivars was 3.60 in the first year and 2.65 in the second year. Among the evaluated cultivars, F-21444 exhibited the lowest disease index, with values of 5.50 and 1.93 in the first and second growing seasons, respectively. In contrast, the susceptible check, cultivar Sharif, showed the highest disease index (6.81 and 3.93), representing approximately 25% and 50% higher values than those of the most resistant cultivar in the first and second growing seasons, respectively. Regarding the harvest index, cultivar F-21446 recorded the highest value in the first year (24.1%), whereas cultivars F-21444 and F-21436 exhibited the highest values in the second year (79.6% and 71.9%, respectively). Based on the SIIG index, cultivar F-21444 ranked first in the first growing

1. Sugar Beet Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.

2. Sugar Beet Seed Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

*Corresponding author: mehdi_hasani@yahoo.com

3. Plant Pathology Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.

season, whereas cultivars F-21439 and F-21446 showed the highest SIIG values in the second growing season. Conversely, cultivar F-21448 consistently exhibited the lowest SIIG values in both growing seasons, indicating its high susceptibility to *Rhizoctonia solani*.

Conclusion

The results showed that the mean disease index across all evaluated cultivars was 3.60 in the first growing season and 2.65 in the second. In the second growing season, significant differences among cultivars were detected for both the disease index and harvest index ($P < 0.01$). In contrast, no significant differences were observed in the first growing season, most likely because the high disease pressure limited discrimination among cultivars. The susceptible control cultivar, Sharif, exhibited the highest disease index and the lowest harvest index, confirming its high susceptibility to *Rhizoctonia solani*. Based on the SIIG index, cultivar F-21444 ranked first in the first growing season, whereas cultivars F-21439 and F-21446 achieved the highest SIIG values in the second growing season, indicating superior overall performance under disease pressure. Conversely, cultivar F-21448 consistently recorded the lowest SIIG values in both growing seasons, reflecting its high susceptibility to *R. solani*. Overall, cultivars F-21444 and F-21439 demonstrated stable performance across growing seasons and may

therefore be considered promising sources of resistance for cultivation and future sugar beet breeding programs in areas affected by *Rhizoctonia* root and crown rot.

Keywords: Micro-plot, Resistance, Rhizoctonia, Root rot, Sugar beet.

References

- Mahmoudi SB, Norouzi P, Khayamim S, Bazrafshan M, Mansouri H, Ahmadi M, Sadeghzadeh Hemayati S, Aghaezadeh M. Identification of proper maternal parent for producing sugar beet cultivars resistant to major soil-borne diseases. *Journal of Sugar Beet*. 2020; 36(1): 1–13. (In Persian with English abstract). DOI: <https://doi.org/10.22092/jsb.2021.351187.1244>.
- Shekholeslami M, Jalilian A, Younesi H. Evaluation of sugar beet commercial cultivars resistance to *Rhizoctonia* root rot in greenhouse and field conditions. *Journal of Sugar Beet*. 2021; 37(1): 1–10. (In Persian with English abstract). DOI: <https://doi.org/10.22092/jsb.2022.355407.1282>
- Taleghani D, Hosseinpour M, Nemati R, Saremirad A. Study of the possibility of winter sowing of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) early cultivars in Moghan region, Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 2023; 24(4): 319–334.



SBSI



انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

ارزیابی مقاومت ارقام خارجی چغندرقد نسبت به پوسیدگی ریشه و طوقه ناشی از *Rhizoctonia solani* در شرایط آلودگی مصنوعی

قاسم پرمون^۱، مهدی حسنی^{۲*}، مهیار شیخ الاسلامی آل آقا^۳، مسعود احمدی^۴، مژده کاکویی نژاد^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۶/۲

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/jsb.2026.373027.1410

ق. پرمون، م. حسنی، م. شیخ الاسلامی آل آقا، م. احمدی، م. کاکویی نژاد، ۱۴۰۵. ارزیابی مقاومت ارقام خارجی چغندرقد نسبت به پوسیدگی ریشه و طوقه ناشی

از *Rhizoctonia solani* در شرایط آلودگی مصنوعی. چغندرقد ۴۱(۲): ۲۳۵ - ۲۵۰

چکیده

پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه چغندرقد که عامل آن قارچ *Rhizoctonia solani* می باشد یکی از عوامل تهدیدکننده کشت چغندرقد در ایران است. استفاده از ارقام مقاوم یکی از مهم ترین راهکارهای کنترل بیماری پوسیدگی ریشه در چغندرقد معرفی شده است. در این تحقیق، تعداد چهار رقم چغندرقد خارجی (F-21444, F-21446, F-21448, F-21439) در کنار یک رقم شاهد مقاوم خارجی (F-21436) و یک رقم شاهد حساس ایرانی (Sharif) در شرایط کنترل شده ریزکرت به مدت دو سال (۱۴۰۲ و ۱۴۰۳) در قالب طرح بلوک های کاملاً تصادفی ارزیابی شد. آلوده سازی گیاهچه ها (در مرحله ۸ - ۶ برگی) با قارچ *R. solani* (جدایه *Rh133*) انجام شد و پس از حدود یک ماه (پس از کنترل درصد آلودگی در شاهد حساس) ریشه ها برداشت و شاخص بیماری (DI)، شاخص برداشت (HI) و شاخص گزینش ژنوتیپ ایده آل (SIIG) برای هریک از ارقام محاسبه شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اختلاف بین ارقام چغندرقد از نظر تعداد ریشه، شاخص بیماری و شاخص برداشت در سال اول به علت بالا بودن شدت بیماری معنی دار نبود؛ در صورتی که در سال دوم با کاهش شدت بیماری، اگرچه تعداد ریشه معنی دار نبود اما از لحاظ شاخص بیماری و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. میانگین شاخص بیماری تمام ارقام مورد بررسی در آزمایش در سال نخست برابر ۶/۳ و در سال دوم برابر ۲/۶۵ بود. در بین ارقام مورد بررسی، کمترین شاخص بیماری (۵/۰۵ و ۱/۹۳ به ترتیب در سال اول و دوم) در رقم F-21444 مشاهده شد. بیشترین شاخص بیماری (۶/۸۱ و ۳/۹۳) نیز مربوط به رقم شاهد Sharif بود که حدود ۵۰ و ۲۵ درصد شاخص بیماری بالاتری نسبت به مقاوم ترین رقم (F-21444) در سال های دوم و اول داشت. همچنین در سال نخست رقم F-21446 و در سال دوم ارقام F-21444 و F-21446 بالاترین شاخص برداشت را به ترتیب با میانگین های ۲۴/۱ و ۷۹/۶ و ۷۱/۹ درصد به خود اختصاص دادند. رقم F-21444 در سال اول و ارقام F-21439 و F-21446 در سال دوم بالاترین شاخص SIIG را نشان دادند. کمترین شاخص SIIG نیز مربوط به رقم F-21448 در هر دو سال زراعی است که نشان دهنده بیشترین حساسیت این رقم به بیماری است؛ بنابراین ارقام F-21444 و F-21439 می تواند به عنوان ارقام مقاوم به بیماری و ایده آل معرفی شوند.

واژه های کلیدی: *Rhizoctonia solani*، ارزیابی بیماری، مقاومت ژنتیکی، نشانگر مولکولی

۱. استادیار بخش تحقیقات چغندرقد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

۲. استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

*- نویسنده مسئول: mehdi_hasani@yahoo.com

۳. دانشیار بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

۴. دانشیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

مقدمه

چغندر قند (*Beta vulgaris*)، نه تنها یکی از مهم ترین منابع تولید شکر در سطح جهانی به شمار می رود، بلکه نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی، توسعه کشاورزی پایدار و صنایع نوین ایفا می کند. ریشه های این گیاه غنی از ساکارز بوده و همواره محرکی برای رشد صنایع غذایی و کشاورزی محسوب شده است (Monteiro et al. 2018). چغندر قند به دلیل سازگاری بالا با اقلیم های مختلف، توانایی بهبود چرخه کشت در زمین های کشاورزی و کاهش وابستگی به نیشکر (*Saccharum officinarum*) (به ویژه در مناطق معتدل) به عنوان نماد نوآوری در صنعت کشاورزی مطرح شده است (Tomaszewska et al. 2018). اهمیت راهبردی این گیاه در اقتصاد ملی، ایجاد فرصت های شغلی در زنجیره ارزش و نقش آن در تأمین مواد اولیه برای صنایعی مانند تولید اتانول زیستی و خوراک دام، جایگاهی چند وجهی و حیاتی برای چغندر قند در دنیای مدرن ساخته است (Taleghani et al. 2023; Salazar-Ordóñez et al. 2013).

در سطح جهان، بیش از ۲۰ گونه قارچی به عنوان عوامل اصلی این نوع پوسیدگی در گیاه چغندر قند شناخته شده اند (Soltani Nezhad et al. 2007). مطالعات انجام شده در ایران نیز نشان داده است که بیش از ۱۴ گونه قارچی در بروز پوسیدگی ریشه این محصول نقش دارند (Mahmoudi et al. 2020; Shekholeslami et al. 2021). با این حال، پوسیدگی های ریزوکتونیایی (*Rhizoctonia* spp.)، فیتوفترایی (*Phytophthora* spp.) و پیتومی (*Pythium* spp.) به ترتیب با ۲۸/۵، ۲۰ و ۱۴/۵ درصد شایع ترین عوامل پوسیدگی ریشه چغندر قند در ایران محسوب می شوند (Shekholeslami et al. 2021). در میان این عوامل، پوسیدگی ریشه و طوقه ناشی از *Rhizoctonia solani* Kühn یکی از مهم ترین و مخرب ترین بیماری های چغندر قند به شمار می رود که در اغلب مناطق چغندرکاری کشور گزارش شده است. این بیماری، به طور قابل توجهی بر کاهش عملکرد و محصول نهایی گیاه تأثیرگذار است. در بررسی های صورت گرفته، استراسباگ و گیلن

(Strausbaugh and Gillen 2008) بیان کردند که خسارت بیماری ریزوکتونیایی ریشه علاوه بر خسارت ناشی از اثر مستقیم قارچ، در بیش تر موارد یک اثر غیرمستقیم نیز دارد که منجر به افزایش خسارت این بیماری می گردد. این محققان عنوان کردند که بافت های داخلی چغندر قند که مورد حمله قارچ ریزوکتونیا قرار گرفته اند، با حمله سایر باکتری ها و مخمرها نیز همراه می شوند که خسارت بیماری را دوچندان می کنند.

گروه های آناستوموزی متعددی از *R. solani* از ریشه های آلوده چغندر قند گزارش شده اند. ویندز و نوبن (Windels and Nabben 1989) در بررسی های خود، گروه های آناستوموزی AG₁، AG₂₋₁، AG₂₋₂، AG₃، AG₄ و AG₅ را از مزارع چغندر قند شناسایی کردند؛ با این حال، نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که گروه های آناستوموزی AG₄ و AG₂₋₂ در مقایسه با سایر گروه های آناستوموزی از بیماری زایی بیشتری روی چغندر قند برخوردار هستند (Windels and Nabben 1989). علائم پوسیدگی ریزوکتونیایی در گیاهچه های جوان معمولاً به صورت مرگ گیاهچه ظاهر می شود. در گیاهان بالغ تر، بیماری عمدتاً ریشه ها را درگیر کرده و به شکل پوسیدگی خشک در بخش های مختلف ریشه مشاهده می شود. علائم اولیه به صورت لکه های کوچک و فرورفته روی سطح ریشه ظاهر شده و به تدریج گسترش می یابند، به طوری که بخش های وسیعی از ریشه دچار پوسیدگی و خشکیدگی می شوند (Mahmoudi et al. 2020). در گیاهان آلوده به گروه آناستوموزی AG₂₋₂، علائم بیماری معمولاً به صورت نواحی قهوه ای رنگ در سطح ریشه ظاهر می شود که اغلب با ترک خوردگی بافت های آلوده همراه هستند (Pourrahim et al. 2016).

کنترل پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه و طوقه چغندر قند از طریق اجرای تناوب زراعی (Buhre et al. 2009; Kluth and Verrelmann 2010) و استفاده از قارچ کش ها (Bolton et al. 2010; Kirk et al. 2008) تا حدودی در کاهش خسارت بیماری مؤثر است، اما با وجود به کارگیری این روش ها، همچنان میزان قابل توجهی از بیماری در مزارع گزارش می شود (Bolton et al. 2010).

به ترتیب به میزان ۲۱ و ۲۷ درصد افزایش عملکرد نسبت به میانگین ارقام داخلی نشان دادند. شیخ‌الاسلامی و همکاران (Shekholeslami *et al.* 2021) نیز در بررسی مقاومت ارقام تجاری چغندر قند به پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه در شرایط گلخانه و مزرعه، گزارش کردند که در هر دو شرایط بین ارقام مختلف با شاهد حساس و همچنین بین خود ارقام از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین واکنش کلی ارقام به هر دو گروه آناسنوموزی مشابه بود. ابراهیمی کولایی و همکاران (Ebrahimi Koulaee *et al.* 2010) نیز نشان داد که هیبریدهای جدید از پتانسیل عملکرد قابل قبولی برخوردار بوده و اکثر آن‌ها تفاوت معنی‌داری با رقم مقاوم داخلی اکباتان نداشتند. سه هیبرید $SC(P.395 \times P.90) \times P.165$ ، $SC(P.395 \times P.23) \times P.165$ ، $SC(P.395 \times P.90) \times P.121$ که هم مقاومت و هم پتانسیل عملکرد بالاتری نسبت به رقم اکباتان داشتند، به‌عنوان هیبریدهای امیدبخش مقاوم به ریزوکتونیا شناسایی شدند.

بنا بر مطالب بیان‌شده هدف از این مقاله ارزیابی مقاومت ارقام خارجی چغندر قند نسبت به پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه در کرمانشاه بود.

مواد و روش‌ها

تیمارهای آزمایشی

در این تحقیق، تعداد چهار رقم چغندر قند خارجی در کنار یک رقم شاهد مقاوم خارجی و یک رقم شاهد حساس ایرانی در شرایط کنترل‌شده ریزکرت در سال‌های زراعی ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی ارزیابی شد. سال اول آزمایش به‌صورت چهار تکرار و در سال دوم به‌صورت سه تکرار (به علت محدودیت در ریزکرت‌ها) بررسی شد. محل اجرای آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی ماهیدشت در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه بود. ماهیدشت دارای اقلیم مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و میانگین دمای سالانه ۱۶ تا ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد است. بارش‌ها کاملاً فصلی و متمرکز در ماه‌های سرد سال با میانگین سالانه ۳۴۰ تا ۳۹۰ میلی‌متر

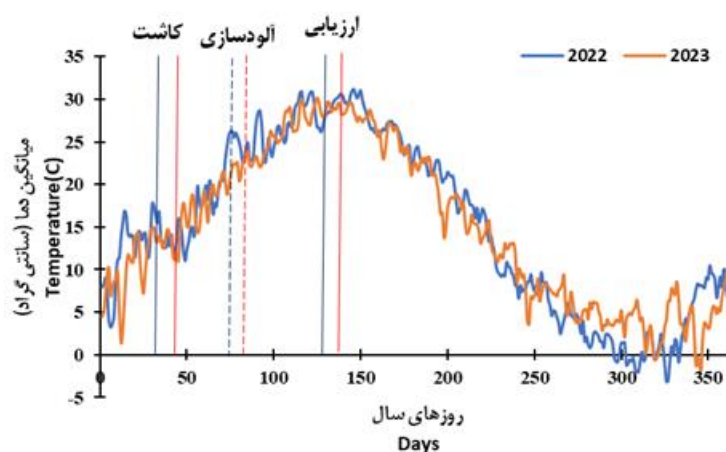
ژائو و وو (Zhao and Wu 2014) گزارش کردند که گونه‌هایی از ریزوکتونیا می‌توانند در صورت رعایت تناوب زراعی نیز باعث خسارت چغندر قند گردند. این محققان در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که ایجاد تناوب زراعی چغندر قند با گندم برای کنترل بیماری ریزوکتونیا در صورتی که گروه آناسنوموزی AG-2-IIIB ریزوکتونیا باشد، مناسب نیست. شیخ‌الاسلامی (Shekholeslami 2000) بیان کرد که بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه حتی در مزارع دارای شرایط مناسب زراعی، با شدت بالا وجود دارد. به‌عبارتی، روش‌های به‌زراعی به‌تنهایی قادر به کنترل این بیماری نیستند.

استفاده از ارقام مقاوم به‌عنوان روشی کم‌هزینه‌تر و مؤثرتر نسبت به سایر راهکارهای کنترل، به‌عنوان یک استراتژی مناسب برای مقابله با بیماری شناخته شده است (Panella 2005). در سال‌های اخیر روش‌های ارزیابی مقاومت به *R. solani* در چغندر قند بهینه‌سازی و لاین‌های مقاوم به این بیمارگر تهیه و ارقام مقاوم به پوسیدگی ریزوکتونیایی در ایران معرفی شدند (Ebrahimi Koulaee *et al.* 2015; Pourrahim *et al.* 2016). محمودی (Mahmoudi *et al.* 2007) در بررسی مقاومت به پوسیدگی ریشه رگه‌های گرده‌افشان و اوتایپ، بیش‌ترین شدت بیماری به ریزوکتونیا را در اوتایپ‌های ۷۱۱۲، ۴۲۸، ۲۶۱، ۲۳۱ و ۴۳۶ مشاهده کردند. ابراهیمی کولایی و همکاران (Ebrahimi Koulaee *et al.* 2009) در آزمایش ارزیابی ژنوتیپ‌ها در مناطق کرج، تربت‌جام، کرمان، همدان و اشنویه گزارش کردند که هیبرید $SB19-S1 \times 24$ (SB36×7112) از نظر مقاومت به پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه و طوقه چغندر قند نسبت به هیبریدهای دیگر برتری داشته و هم‌تراز شاهد خارجی بود. محمودی (Mahmoudi 2014) در تحقیقات خود متذکر شد که می‌توان از لاین ۸۸۲۳۹ جهت تهیه والد گرده‌افشان مقاوم به بیماری ریزومانیا و پوسیدگی ریزوکتونیایی استفاده کرد. سلطانی (Soltani 2014) نیز گزارش کرد که هیبریدهای $FC 703-S1 \times 12$ (SB36×7112) و FC 703-S1 24 (SB36×7112) در شرایط آلوده به ریزوکتونیا

شکل (۱) آمده است. به منظور کاهش جمعیت *R.solani*، ریزکرت باقی ماند. برای کنترل آفات کک چغندر قند (*Chaetocnema tibialis*) و برگخوار کارادرینا (*Spodoptera exigua*) از ترکیب سموم کاراتزون-Lambda (cyhalothrin) (۱۵۰ میلی لیتر در هکتار) و پروکلیم فیت (Emamectin benzoate+Lufenuron) (۱۰۰ گرم در هکتار) به صورت مجزا در قبل از آلوده سازی ریزکرت ها (در مرحله دو برگی برای کنترل کک و در مرحله چهار تا شش برگی برای کنترل کارادرینا) استفاده گردید. علف های هرز به صورت مکانیکی کنترل شدند و آبیاری ریزکرت ها بر اساس نیاز و با استفاده از سیستم قطره ای (نوار تیپ) انجام شد. مشخصات ارقام مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۲ آمده است.

است. تغییرات میانگین دمای هوا در دوره اجرای این پژوهش در ریزکرت ها، ابتدا ریزکرت ها تا حد ظرفیت زراعی آبیاری و سپس با پلاستیک شفاف (۳۰-۴۰ میکرون) به مدت چهار تا شش هفته در ماه های گرم سال پوشانده شدند تا دمای خاک به ۴۵ تا ۵۰ درجه سانتی گراد افزایش یافته و اسککروت های قارچی تا عمق ۲۰ سانتی متری کاهش یابند. پس از برداشتن پلاستیک، خاک به مدت یک تا دو هفته برای تهویه در شرایط طبیعی باقی ماند. در سال دوم نیز خاک ریزکرت ها تعویض شده و با خاک مزرعه جایگزین شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ریزکرت ها در جدول ۱ آمده است.

در فروردین ماه هر سال بذر هر رقم در چهار خط دو متری در ریزکرت ها کشت شد و بعد از یک ماه بوته ها با فاصله ی ۱۰ تا ۱۲ سانتی متر تنک گردید،



شکل ۱ تغییرات میانگین دمایی ایستگاه ماهیدشت در سال های انجام مطالعه

Fig 1 Changes in mean temperature at Mahidasht station during the study period

جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ریزکرت ها مورد استفاده در این آزمایش

Table 1 Physical and chemical properties of the soil in the microplots used in this study.

سال Years	مواد خنثی شونده TNV(%)	املاح محلول Ec	اسیدیته pH	کربن آلی Organic carbon(%)	فسفر P(ppm)	پتاسیم K(ppm)	روی Zn(ppm)
2022	27.5	0.82	7.48	1.15	16.77	643	0.84
2023	27.2	0.58	7.59	1.27	15.27	594	1.02

جدول ۲ مشخصات ارقام مورد استفاده در این مطالعه

Table 2 Characteristics of the cultivars used in this study.

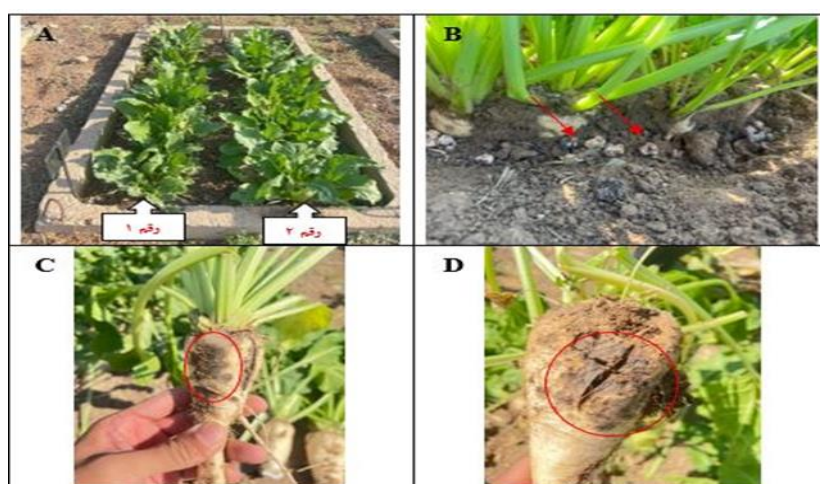
Row	رقم Cultivar	مقاومت Resistance
1	F-21444	Unspecified
2	F-21446	Unspecified
3	F-21448	Unspecified
4	F-21439	Unspecified
5	F-21436	Resistant
6	Sharif	Sensitive

تهیه مایه تلقیح قارچ و آماده سازی

برای تهیه مایه تلقیح در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، بر اساس روش ویندلز (Windels and Kuznia, 1997)، دانه‌های ذرت به مدت ۱۲ ساعت در آب خیس شده و سه روز متوالی با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ در اتوکلاو استریل شد. پس از سترون شدن، ۱۰ عدد دیسک از محیط کشت پنج روزه قارچ *R. solani* گروه آناستوموری AG₂-2 در ارلن‌های محتوی دانه‌های ذرت استریل قرار گرفت و به مدت ۲۱ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای آلوده سازی ریزکرت‌ها پس از گذشت هشت هفته از رشد بوته‌ها، آلودگی مصنوعی توسط جدایه *Rh133* که روش تهیه آن توضیح داده شده انجام شد. به طوری که در پای هر بوته (در

عمق پنج سانتی متری)، پنج عدد بذر ذرت آلوده قرار داده (شکل ۲) و پای بوته‌ها خاک‌دهی و جهت گسترش بهتر بیماری بلافاصله کرت‌ها آبیاری و تا دو هفته خاک مرطوب نگه داشته شد.

فرآیند سیستماتیک غربالگری، انتخاب و تثبیت صفت مقاومت در لاین‌های گرده افشان پدری، سنگ بنای تولید ارقام هیبرید مقاوم است. با تکیه بر روش‌های استاندارد ارزیابی و تکنیک‌های پیشرفته آماری، می‌توان ذخایر ژنتیکی کارآمد را با دقت بالا شناسایی نمود. معرفی لاین‌های مقاوم جدید، دست اصلاح‌گران را برای توسعه ارقام برتر با اتکا به راهبرد مقاومت ژنتیکی بازتر می‌کند.



شکل ۲ نمای کلی کرت‌های آزمایشی در شرایط ریزکرت‌ها (A)، روش مایه‌زنی مصنوعی با استفاده از دانه‌های ذرت کلنی‌زایی شده با قارچ *R. solani* در مجاورت ریشه (B)، گسترش علائم پوسیدگی نکروتیک بر روی سطح ریشه‌های آلوده‌ی چغندر قند با دو بزرگنمایی متفاوت (C و D).
Fig 2 Overall view of the experimental plots under microplot conditions (A), artificial inoculation using corn kernels colonized with *R. solani* and placed near the roots (B), and development of necrotic rot symptoms on the surface of infected sugar beet roots at two different magnifications (C and D).

روش ارزیابی آلودگی ارقام

حدود یک ماه پس از مایه‌زنی مصنوعی (هم‌زمان با بروز علائم کامل در بوته‌های شاهد حساس)، ریشه‌ها برداشت و بر اساس مقیاس ۱ تا ۹ به روش باتنر و همکاران (Buttner et al. 2004) نمره دهی انجام شد. قبل از برداشت ریشه‌ها، بوته‌های مرده در هر کرت شمارش و یادداشت شد. جهت اطمینان از نتایج آزمایش و تأیید وجود *R. solani* در ریشه‌های پوسیده، ۱۰ قطعه‌ای از حاشیه بافت آلوده که شامل بافت‌های سالم و آلوده بود (نمونه

تصادفی از کل ریزکرت‌ها) تهیه شده و در آزمایشگاه بیماری شناسی بخش گیاه‌پزشکی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، روی محیط کشت CMA یا آگار (۱۷ گرم پودر آگار در ۱ لیتر آب، سپس اتوکلاو به مدت ۱۵ دقیقه) کشت داده شد. سپس عامل بیماری خالص‌سازی و قارچ عامل پوسیدگی شناسایی شد. مقیاس نمره‌دهی بیماری (۱-۹) به صورت جدول (۳) می‌باشد.

جدول ۳ مقیاس شدت بیماری پوسیدگی ریشه‌ی چغندر قند (مبتنی بر درصد سطح پوسیده) بر اساس باتنر و همکاران (Buttner et al. 2004)
Table 3 Disease severity scale for sugar beet root rot based on the percentage of decayed root surface area, according to Buttner et al. (2004)

معیار (نمره) Criterion (Score)	توضیحات
1	بدون علائم بیماری (کاملاً سالم) No disease symptoms (completely healthy)
2	تغییر رنگ یا پوسیدگی بسیار خفیف در ریشه Very slight discoloration or very mild root rot
3	پوسیدگی خفیف، کمتر از ۱۰ درصد سطح ریشه Mild root rot, affecting less than 10% of the root surface
4	پوسیدگی ۱۰-۲۵ درصد سطح ریشه Root rot affecting 10-25% of the root surface
5	پوسیدگی ۲۶-۵۰ درصد سطح ریشه Root rot affecting 26-50% of the root surface
6	پوسیدگی ۵۱-۷۵ درصد سطح ریشه Root rot affecting 51-75% of the root surface
7	پوسیدگی شدید، بیش از ۷۵ درصد سطح ریشه Severe root rot, affecting more than 75% of the root surface
8	پوسیدگی بسیار شدید همراه با تخریب گسترده ریشه Very severe root rot accompanied by extensive root destruction
9	مرگ گیاه یا پوسیدگی کامل ریشه Plant death or complete root rot

شاخص‌های مورد ارزیابی

شاخص بیماری (Disease Index) ریزوکتونیا، معیاری کمی برای بیان شدت آلودگی گیاهان به قارچ *R. solani* است. این شاخص با استفاده از نمره‌دهی علائم بیماری به هر گیاه بر اساس یک مقیاس (Buttner et al. 2004) و سپس محاسبه درصد شدت بیماری در کل جمعیت گیاهی به دست می‌آید. شاخص بیماری امکان مقایسه میزان مقاومت یا حساسیت ژنوتیپ‌ها، ارزیابی کارایی روش‌های کنترل و تحلیل آماری نتایج را فراهم می‌کند. در مطالعات بیماری ریزوکتونیایی چغندر قند، هرچه مقدار

DI کمتر باشد، ژنوتیپ مقاومت بیشتری به بیماری دارد و مقادیر بالاتر نشان‌دهنده شدت بیشتر بیماری و حساسیت بالاتر گیاه است. محاسبه شاخص بیماری به صورت زیر انجام شد.
 رابطه ۱

$$DI = \frac{\sum(n_i \times v_i)}{N}$$

که در آن n_i تعداد گیاهان در هر نمره بیماری، v_i ارزش یا نمره آن شدت بیماری و N کل تعداد گیاهان ارزیابی شده است.
 شاخص برداشت (Harvesting Index (HI) بیماری معمولاً به

در این رابطه‌ها d^- فاصله از رقم شاهد حساس، d^+ فاصله از رقم شاهد مقاوم، Γ_{ij} مقدار نرمال شده صفت هر رقم، Γ_i^+ و Γ_i^- به ترتیب مقدار نرمال شده صفت در رقم شاهد و رقم ایده‌آل، SIIG: شاخص انتخاب رقم ایده‌آل است.

تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. با توجه به برابر نبودن تعداد تکرارها در دو سال مورد مطالعه آزمون همگنی (بارتلت) و تجزیه مرکب بر روی داده‌ها صورت نگرفت و سال‌ها مجزا مورد بررسی قرار گرفتند. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار R نسخه ۳/۴ صورت گرفت.

نتایج

طبق بررسی‌های صورت گرفته و کشت آزمایشگاهی عامل ایجاد بیماری در نمونه‌های کشت‌شده، قارچ *R. solani* بود؛ بنابراین می‌توان عنوان کرد که پوسیدگی ریشه‌های چغندر قند بر اثر آلودگی ایجادشده توسط این گونه بوده است. هنگام برداشت ریشه‌ها، قارچ عامل بیماری تقریباً تمام ریشه‌ها را تحت تأثیر قرار داده بود (شکل ۲). بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اختلاف بین ارقام چغندر قند از نظر تعداد ریشه، شاخص بیماری و شاخص برداشت در سال اول به علت بالا بودن شاخص بیماری (۶/۳) معنی‌دار نبود؛ در صورتی که در سال دوم با توجه به کمتر بودن شاخص بیماری (۲/۶۵)، اگرچه تعداد ریشه معنی‌دار نبود اما از لحاظ شاخص بیماری و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

شاخصی اطلاق می‌شود که شدت بیماری را در زمان برداشت محصول نشان می‌دهد. این شاخص بیانگر میزان خسارت نهایی بیماری بر ریشه یا اندام برداشت شونده است و برای مقایسه مقاومت ژنوتیپ‌ها، ارزیابی کارایی تیمارهای کنترل بیماری و برآورد خسارت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در چغندر قند، شاخص برداشت بیماری معمولاً بر اساس نمره‌دهی شدت پوسیدگی ریشه در زمان برداشت و سپس محاسبه شاخص بیماری به صورت رابطه ۲ به دست می‌آید (Buttner et al. 2004):

رابطه ۲

$$HI (\%) = \frac{\sum(n_{i1}, \dots, i3)}{N} \times 100$$

که در آن n_i : تعداد گیاهان با درجه بیماری بین یک تا سه و N : کل تعداد گیاهان ارزیابی شده (نمره ۱ تا ۹) است.

تجزیه داده‌ها

به منظور بررسی بهتر تنوع ژنتیکی از روش فاصله نسبت به شاهد حساس و شاهد مقاوم به عنوان رقم ایده‌آل و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (Selection Index of Ideal Genotype – SIIG) طبق رابطه‌های ۳ تا ۵ استفاده شد.

رابطه ۳

$$d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (rij - rj^-)^2}$$

رابطه ۴

$$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (rij - rj^+)^2}$$

رابطه ۵

$$SIIG = \frac{d^-}{d^+ + d^-}$$

جدول ۴ تجزیه واریانس صفات تعداد ریشه، شاخص بیماری و شاخص برداشت در ارقام چغندر قند تحت آلودگی مصنوعی با قارچ *Rhizoctonia solani* در شرایط ریزکرت‌ها (دو سال زراعی)

Table 4 Analysis of variance for root number, disease index, and harvest index of sugar beet cultivars under artificial inoculation with *Rhizoctonia solani* in microplot conditions over two growing seasons.

منابع تغییر S.O.V.	2022				2023			
	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares			درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares		
		تعداد بوته Plant number	شاخص بیماری Disease index	شاخص برداشت Harvest index		تعداد بوته NO. plant	شاخص بیماری Disease index	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	3	8.22 ^{ns}	0.088 ^{ns}	0.38 ^{ns}	2	13.83 ^{ns}	1.41 *	993.5*
رقم Cultivar	5	8.18 ^{ns}	0.085 ^{ns}	3.59 ^{ns}	5	4.70 ^{ns}	2.04**	892.8**
خطا Error	15	2.8	0.059	2.63	10	5.03	0.39	183.0
ضریب تغییرات (%) CV (%)		12.5	9.7	48.9	-	14.3	23.6	22.7

ns: غیر معنی‌دار، *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns, **and * nonsignificant, significant at 1and 5% probability level, respectively.

به رقم شاهد Sharif با شاخص بیماری ۶/۸۱ و ۳/۹۳ به ترتیب در سال اول و دوم بود که حدود ۵۰ و ۲۵ درصد شاخص بیماری بالاتری نسبت مقاوم‌ترین رقم (F-21444) در سال‌های دوم و اول داشت (جدول ۵).

شاخص برداشت (HI)

نتایج شاخص برداشت نشان داد که در سال نخست رقم F-21446 و در سال دوم، ارقام F-21444 و F-21446 به ترتیب با میانگین‌های ۲۴/۱، ۷۹/۶ و ۷۱/۹ درصد بالاترین شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند. رقم F-21439 در هر دو سال به ترتیب با شاخص برداشت ۹/۷ و ۶۴/۵ درصد در رتبه‌های بعدی قرار گرفت. میانگین کل شاخص برداشت ارقام مورد آزمایش در سال اول و دوم به ترتیب برابر با ۱۲/۹ و ۵۹/۶ درصد بود. شاخص برداشت رقم شاهد در سال نخست برابر با ۱۴/۸ درصد که نسبت به چهار رقم مورد مطالعه بیشتر بود، ولی در سال دوم با مقدار ۳۹/۸ درصد کمترین مقدار بود و هر پنج رقم مورد بررسی بیشتر از آن بودند (جدول ۵).

در این آزمایش به‌طور میانگین برای هر رقم تعداد ریشه‌های مورد ارزیابی (ریشه‌های با نمره یک تا نه) برای سال نخست برابر با ۱۳/۶ و برای سال دوم ۱۵/۷ ریشه بود. طبق نتایج، کمترین تعداد ریشه به ترتیب با میانگین ۱۰/۶ و ۱۴/۷ ریشه در سال اول و دوم مربوط به رقم F-21448 بود. بیشترین تعداد ریشه در سال نخست مربوط به رقم F-21446 و در سال دوم مربوط به رقم F-21439 بود که با ارقام دیگر تفاوت‌ها معنی‌دار نداشتند (جدول ۵).

شاخص بیماری (DI)

نتایج مربوط به شاخص بیماری مشخص نمود، شاخص بیماری رقم شاهد Sharif در آزمایش سال نخست ۶/۸ و در سال دوم ۳/۹۳ بود که تأییدکننده حساس بودن این رقم (شاهد) می‌باشد که بالاترین نمره را کسب کرده است (جدول ۵). میانگین شاخص بیماری تمام ارقام مورد بررسی در آزمایش سال نخست برابر ۶/۳ و در سال دوم برابر ۲/۶۵ بود. در بین ارقام مورد بررسی، کمترین شاخص بیماری در رقم F-21444 با شاخصی معادل ۵/۰۵ در سال نخست و ۱/۹۳ در سال دوم مشاهده شد که به‌عنوان مقاوم‌ترین رقم شناخته شد. بیشترین شاخص بیماری نیز مربوط

جدول ۵ مقایسه میانگین ارقام از لحاظ صفات مورد بررسی در شرایط ریزکرت‌ها با آلودگی مصنوعی

Table 5 Comparison of mean values of cultivars for the traits evaluated under microplot conditions with artificial inoculation

رقم Cultivar	تعداد بوته Plant number		شاخص بیماری Disease index		شاخص برداشت (%) Harvest index (%)	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
F-21444	14.67±1.45 ab	16.00±0.70a	5.05±0.25b	1.93±0.09c	12.29±6.81 ab	79.57±1.76a
F-21446	15.33±0.66 a	16.00±0.71a	6.38±1.68ab	2.19±0.08bc	24.11±2.87 a	71.99±3.42a
F-21448	10.67±1.76 ab	14.25±2.40a	7.48±0.52a	2.67±0.30bc	3.33±3.33 b	51.18±10.3bc
F-21439	13.67±0.33 ab	17.25±0.63a	6.28±0.17ab	2.31±0.20bc	9.71±2.30 ab	64.51±7.32ab
F-21436	14.33±1.20ab	16.25±0.62a	5.78±0.37ab	2.90±0.40b	13.61±3.41 ab	50.87±10.9bc
Sharif	13.00±0.57 b	14.75±1.31a	6.81±0.51ab	3.93±0.73a	14.84±7.41 ab	39.79±13.5c
Means	13.61±0.53	15.75±0.50	6.30±0.32	2.65±0.20	12.98±2.23	59.65±4.29

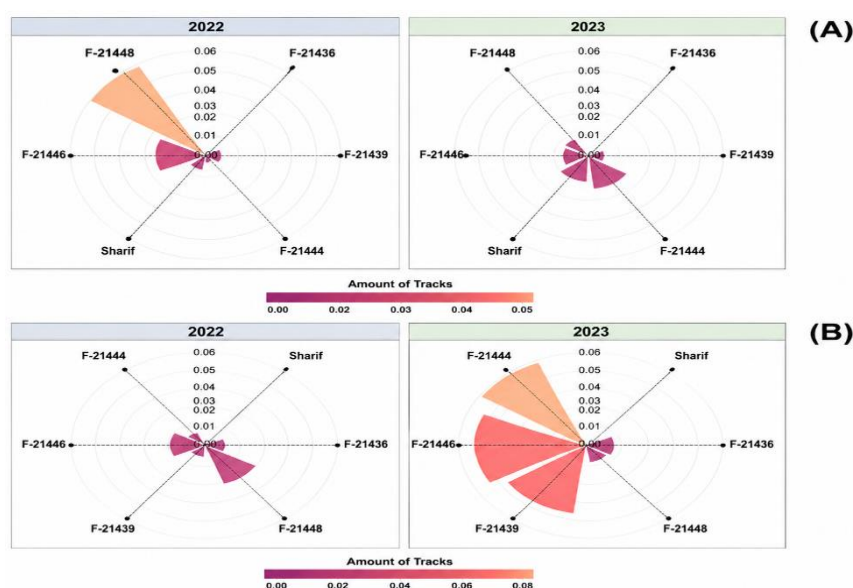
حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Different letters within each column indicate significant differences according to Duncan's test at the 5% probability level.

فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل

محاسبه فاصله ارقام از ژنوتیپ‌های حساس (Sharif) و مقاوم (F-21436) به‌عنوان رقم ایده‌آل نشان داد که در سال نخست ارقام F-21439 و F-21436 کمترین فاصله و رقم F-21448 بیشترین فاصله را از رقم شاهد حساس (Sharif) نشان دادند. در سال دوم رقم F-21436 و F-21448 کمترین فاصله و رقم F-21444 بیشترین فاصله را با رقم شاهد Sharif داشتند که نشان‌دهنده کمترین و بیشترین تفاوت این ارقام با رقم حساس

شاهد می‌باشد (شکل ۳). محاسبه فاصله ارقام از ژنوتیپ شاهد مقاوم خارجی (F-21436) نیز نشان داد که در سال نخست ارقام F-21444 و F-21439 کمترین فاصله و رقم F-21448 بیشترین فاصله را از رقم شاهد خارجی داشتند، این در حالی بود که در سال دوم ارقام F-21439 و F-21446 کمترین فاصله را به خود اختصاص دادند، ولی بیشترین فاصله مربوط به رقم F-21444 بود که نشان‌دهنده کمترین و بیشترین تفاوت این ارقام با رقم شاهد خارجی می‌باشد (شکل ۳).



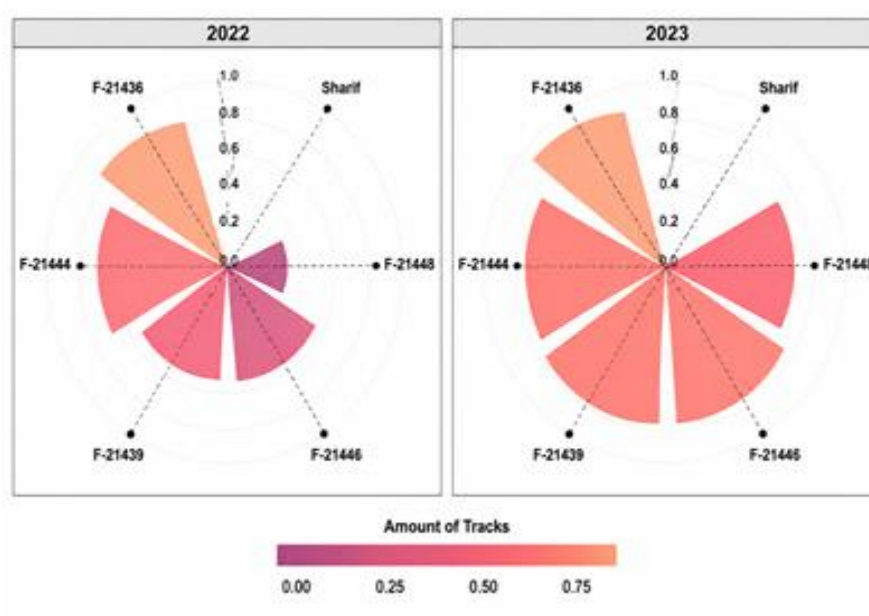
شکل ۳ نمودار برداری مقادیر آماری -d (A) و +d (B) ارقام مورد مطالعه چغندر قند

Fig 3 Vector diagram of the statistical values – d (A) and +d (B) for the sugar beet cultivars studied.

شاخص انتخاب (SIIG)

مقادیر حداقل و حداکثر محاسبه شده برای شاخص انتخاب SIIG در ارقام مورد بررسی در این آزمایش در شرایط ریزکرت ها به ترتیب با یک برای شاهد مقاوم (F-21436) و صفر برای شاهد حساس (Sharif) نمایش داده شد. بر این اساس نتایج نشان داد که رقم F-21444 (معادل با ۰/۸۸۸) در سال نخست و ارقام F-21439 و F-21446 در سال دوم (به ترتیب ۰/۸۹۱ و ۰/۸۸۰) بالاترین شاخص را به خود اختصاص دادند به طوری که بر اساس

این شاخص می توان ارقام F-21444، F-21439 و F-21446 را به عنوان ارقام انتخابی (بر اساس بالاترین میزان مقاومت) معرفی نمود. کمترین شاخص SIIG نیز مربوط به رقم F-21448 در هر دو سال زراعی است که در سال نخست ۰/۳۳۶ و در سال دوم ۰/۷۱۷ رسید که این امر نشان دهنده حساسیت بالا به بیماری ریزوکتونیا در این رقم بر اساس شاخص SIIG می باشد (شکل ۴).



شکل ۴ نمودار برداری شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل و رتبه بندی ارقام مورد مطالعه چغندر قند

Fig 4 Vector diagram of the ideal genotype selection index and the ranking of the sugar beet cultivars studied.

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که شش رقم چغندر قند مورد بررسی از نظر شاخص بیماری، شاخص برداشت، شاخص انتخاب رقم ایده آل و تعداد ریشه آلوده اختلاف معنی داری داشتند. این اختلاف بیانگر وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه در واکنش ارقام به آلودگی ناشی از *R. solani* است و نشان می دهد که ژنوتیپ نقش تعیین کننده ای در میزان مقاومت یا حساسیت به این بیمارگر خاکزی دارد. در میان ارقام ارزیابی شده، ارقام F-21444، F-21446، کمترین شاخص بیماری و بیشترین شاخص برداشت را نشان دادند و از این نظر نسبت به سایر ارقام عملکرد مطلوب تری

داشتند. از آنجا که تمامی ژنوتیپ ها تحت شرایط محیطی و سطح آلودگی یکسان ارزیابی شدند، تفاوت مشاهده شده را می توان عمدتاً ناشی از اختلافات ژنتیکی در سازوکارهای دفاعی و ظرفیت تحمل آلودگی دانست (جدول ۵).

شاخص بیماری و شاخص برداشت از مهم ترین معیارهای ارزیابی مقاومت به پوسیدگی ریزوکتونیایی هستند، زیرا نشان دهنده شدت توسعه بیماری در شرایط آلودگی است. در بسیاری از موارد، ژنوتیپی که شدت بیماری کمتری نشان می دهد، لزوماً بیشترین عملکرد را ندارد؛ زیرا حفظ عملکرد تحت تنش بیماری علاوه بر مقاومت، به ویژگی هایی مانند قدرت رشد مجدد ریشه، کارایی

فتوستنتر، توانایی انتقال مواد فتوستنتری به ریشه و تحمل فیزیولوژیکی گیاه نیز وابسته است. به همین دلیل، استفاده هم‌زمان از شاخص بیماری و شاخص برداشت می‌تواند تصویری جامع‌تر از واکنش ژنوتیپ‌ها به بیماری ارائه دهد و انتخاب ارقام برتر را با دقت بیشتری امکان‌پذیر سازد (Harveson and Panella and Lewellen 2007; Rush 2002).

نتایج این پژوهش با گزارش‌های متعددی درباره وجود تنوع ژنتیکی در مقاومت چغندر قند به *R. solani* همخوانی دارد. ویگی و گولدمن (Wigg and Goldman 2020) در ارزیابی مجموعه‌ای از ژرم‌پلاسماهای چغندر قند، اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر شدت بیماری مشاهده کردند و ژنوتیپ‌های Badger Flame و FC709-2 را به‌عنوان مقاوم‌ترین و ژنوتیپ‌های W411B و KDH13 را به‌عنوان حساس‌ترین منابع ژنتیکی معرفی نمودند. همچنین حمزه و همکاران (Hamze et al. 2023) سه اوتایپ اصلاحی (شماره ۵ (OT010245)، ۸۰ (OTHSF-010041) و ۳۲ (OT010277)) را به‌عنوان منابع مقاومت شناسایی کردند که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی قابل بهره‌برداری در برنامه‌های اصلاح نباتات است. ابراهیمی کولایی و همکاران (Ebrahimi Koulaee et al. 2010; 2019) نیز وجود تفاوت معنی‌دار بین لاین‌ها و هیبریدهای اصلاحی را از نظر مقاومت به پوسیدگی ریزوکتونیایی گزارش کردند و تعدادی از ژنوتیپ‌ها (پنج هیبرید $(P.121 \times P.90) \times P.395$ SC، $P.165 \times P.90$ SC، $(P.395 \times P.90) \times P.121$ SC و $P.165 \times P.23$ SC) و $(P.395 \times P.93) \times P.165$ را به‌عنوان منابع امیدبخش مقاومت معرفی نمودند. همسویی نتایج پژوهش حاضر با این مطالعات نشان می‌دهد که انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم همچنان یکی از مؤثرترین راهکارهای کاهش خسارت این بیماری در شرایط مزرعه است (Ebrahimi Koulaee et al. 2015; Pourrahim et al. 2016).

از دیدگاه ژنتیکی، مقاومت چغندر قند به *R. solani* از نوع مقاومت کمی (Quantitative Resistance) است و برخلاف مقاومت‌های تک‌ژنی، توسط مجموعه‌ای از ژن‌ها با اثرات کوچک

و افزایشی کنترل می‌شود. لین و همکاران (Lein et al. 2008) با استفاده از نشانگرهای مولکولی، چندین ناحیه ژنومی (QTL) مرتبط با مقاومت به ریزوکتونیا را روی کروموزوم‌های مختلف چغندر قند شناسایی کردند و نشان دادند که هیچ ژن منفردی مسئول ایجاد مقاومت کامل نیست. این یافته بیانگر آن است که مقاومت حاصل برهم‌کنش چندین ژن و شبکه‌ای از مسیرهای دفاعی گیاه است. به همین دلیل، ارقام تجاری معمولاً دارای مقاومت نسبی یا متوسط هستند و مقاومت کامل تاکنون در ژرم‌پلاسماهای چغندر قند گزارش نشده است. مطالعات کلاسیک هکر و روبل (Hecker and Ruppel 1976) نیز نشان داد که مقاومت به *R. solani* ماهیتی پلی‌ژنیک دارد و حداقل دو جایگاه ژنی اصلی همراه با ژن‌های تعدیل‌کننده در کنترل آن نقش دارند. این پژوهشگران همچنین میزان وراثت‌پذیری مقاومت را حدود ۶۵ درصد برآورد کردند که نشان‌دهنده سهم قابل توجه عوامل ژنتیکی در بروز این صفت است. وراثت‌پذیری نسبتاً بالا بیان می‌کند که انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم در برنامه‌های اصلاحی می‌تواند با کارایی مناسبی انجام شود، هرچند اثر متقابل ژنوتیپ و محیط همچنان یکی از چالش‌های اصلی در انتخاب ارقام پایدار محسوب می‌شود. پنلا و لوین (Panella and Lewellen 2007) نیز تأکید کردند که تجمع تدریجی ژن‌های مقاومت کمی از طریق برنامه‌های اصلاحی، مؤثرترین راه برای افزایش مقاومت پایدار به ریزوکتونیا در چغندر قند است. همچنین تفاوت مشاهده‌شده بین ارقام در این مطالعه احتمالاً ناشی از تفاوت فعال شدن سازوکارهای دفاعی گیاه پس از نفوذ قارچ است. پس از ورود *R. solani* به بافت ریشه، گیاه مجموعه‌ای از پاسخ‌های دفاعی شامل تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، افزایش سنتز ترکیبات فنلی، رسوب لیگنین و سوبرین در دیواره سلولی و فعال شدن آنزیم‌های دفاعی مانند پراکسیداز (POD)، پلی‌فنل اکسیداز (PPO) و فیل‌آلانیل آمونیلایز (PAL) را آغاز می‌کند. این پاسخ‌ها موجب تقویت دیواره سلولی، محدود شدن گسترش قارچ و کاهش تخریب بافت‌های ریشه می‌شوند؛ بنابراین، ژنوتیپ‌هایی که قادرند این واکنش‌های دفاعی را سریع‌تر و شدیدتر فعال کنند،

ارقام مقاوم مدنظر قرار بگیرند (شکل ۳).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج مشخص شد که فشار شدید بیماری در سال نخست (شاخص ۶/۳)، تفاوت‌های ژنتیکی ارقام را کمتر نموده و سبب شکستن مقاومت تمامی ارقام و عدم معنی‌داری واریانس گردید، در حالی که در سال دوم با کاهش فشار (۲/۶۵)، تمایز ارقام برای شاخص‌های بیماری و شاخص برداشت به‌وضوح معنی‌دار شد. از میان ارقام، F-21444 مقاوم‌ترین (کمترین شاخص بیماری به ترتیب ۵/۰۵ و ۱/۹۳ در سال اول و دوم)، F-21446 پرمحصول‌ترین (بالا‌ترین شاخص برداشت به ترتیب ۲۴/۱ و ۷۱/۹ درصد در سال اول و دوم) و F-21439 پایدارترین رقم از نظر نزدیکی به ژنوتیپ مقاوم تشخیص داده شدند؛ در مقابل، رقم F-21448 با پایین‌ترین شاخص انتخاب (SIIG) معادل ۰/۳۳۶ و ۰/۷۱۷ به ترتیب در سال اول و دوم حساس‌ترین رقم شناخته شد. ارقام F-21444 و F-21446 بر اساس شاخص ترکیبی SIIG (بیشتر از ۰/۸۸) به‌عنوان ارقام برتر و قابل توصیه برای کشت در مناطق آلوده معرفی می‌شوند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

سپاسگزاری

از کلیه همکاران در بخش به‌نژادی و گیاه‌پزشکی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند و همچنین همکاران مستقر در ایستگاه تحقیقات کشاورزی ماهیدشت (مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه) سپاسگزاری می‌گردد.

معمولاً شدت بیماری کمتری نشان می‌دهند. علاوه بر پاسخ‌های بیوشیمیایی، ویژگی‌های ریخت‌شناسی ریشه نیز می‌توانند در میزان مقاومت نقش داشته باشند. ضخامت بیشتر پریدرم، سرعت ترمیم زخم، توانایی تولید ریشه‌های جانبی جدید و حفظ فعالیت مریستم ریشه از عواملی هستند که می‌توانند موجب کاهش پیشرفت پوسیدگی شوند. بولتن (Bolton et al. 2010) بیان کردند که مقاومت به ریزوکتونیا حاصل برهم‌کنش پیچیده‌ای بین ساختار ریشه، پاسخ‌های فیزیولوژیکی و شبکه‌های تنظیم ژنی است و نمی‌توان آن را به یک سازوکار منفرد نسبت داد. همچنین لیو و همکاران (Liu et al. 2019) نشان دادند که مقاومت چغندر قند به *R. solani* وابسته به مرحله رشد گیاه است؛ به‌طوری‌که گیاهان مسن‌تر به دلیل تکامل بیشتر بافت‌های دفاعی و افزایش ظرفیت پاسخ‌های القایی، آسیب کمتری نسبت به گیاهچه‌های جوان متحمل می‌شوند. این یافته‌ها بیانگر آن است که ارزیابی مقاومت باید در مراحل مختلف رشد انجام شود تا بتوان واکنش واقعی ژنوتیپ‌ها را به‌درستی تفسیر کرد.

رابطه بین بیماری‌های ریشه‌ای چغندر قند ناشی از قارچ‌های مختلف و تولید شکر نشان داده است که به ازای هر یک درصد افزایش بیماری بوته میری و پوسیدگی ریشه، ۷۰-۸۰ کیلوگرم شکر در هکتار خسارت وارد می‌شود (Harveson et al. 2002)؛ بنابراین این بیماری علاوه بر کاهش مدت‌زمان نگهداری ریشه‌ها در مرحله دپو توسط کارخانه و کاهش شکر استحصال، با کاهش عیار و عملکرد ریشه موجب کاهش تولید شکر نیز می‌شود. همچنین طبق بررسی‌های صورت گرفته مشخص شده است که بهترین راه مقابله با این بیماری استفاده از ارقام مقاوم می‌باشد (Buttner et al. 2004)؛ بنابراین نظر به اهمیت معرفی ارقام مقاوم و کاهش خسارت ناشی از بیمارگرهای خاکزی چغندر قند، توسعه بذر ارقام تجاری چغندر قند مقاوم به پوسیدگی قارچی ریزوکتونیایی ضروری بود که بتوان به عملکرد خوبی در مناطق آلوده به این بیماری دست یافت. در این مطالعه نیز مشخص شد، ارقام F-21439 و F-21446 کمترین فاصله را با رقم شاهد مقاوم خارجی (F-21436) نشان دادند که این امر نشان‌دهنده مقاومت بالا به بیماری در این ارقام می‌باشد که می‌توانند به‌عنوان

References

منابع مورد استفاده

- Bolton MD, Panella L, Campbell LG, Khan MF. Temperature, moisture, and fungicide effects in managing *Rhizoctonia* root and crown rot of sugar beet. *Phytopathology*. 2010; 100(7): 689–697. **DOI:** <https://doi.org/10.1094/PHYTO-100-7-0689>
- Buhre C, Kluth C, Bürcky K, Märlander B, Varrelmann M. Integrated control of root and crown rot in sugar beet: Combined effects of cultivar, crop rotation, and soil tillage. *Plant Disease*. 2009; 93(2): 155–161. **DOI:** <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-2-0155>
- Buttner G, Pfähler B, Märlander B. Greenhouse and field techniques for testing sugar beet for resistance to *Rhizoctonia* root and crown rot. *Plant Breeding*. 2004; 123(2): 158–166. **DOI:** <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2003.00967.x>
- Ebrahimi Koulaee H, Mahmoudi SB, Hasani M. Evaluation of the resistance of sugar beet breeding lines to *Rhizoctonia* root and crown rot. *Journal of Sugar Beet*. 2010; 26(1): 31–42. **DOI:** <https://doi.org/10.22092/jsb.2010.758> (In Persian with English abstract).
- Ebrahimi Koulaee H, Mahmoudi SB, Soltani J, Ebrahimian H, Pedram A. Study on breeding diploid pollinators resistant to *Rhizoctonia*. Sugar Beet Seed Institute, Karaj. 2009. Report No.: 88/581. (In Persian).
- Ebrahimi Koulaee H, Mansouri H, Aghaezadeh M, Mohammadian R, Soltani J, Fotouhi K. Evaluation of yield potential and resistance to *Rhizoctonia solani* disease of new sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrids. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 2019; 21(2): 173–187. **DOI:** <https://doi.org/10.29252/abj.21.2.173>. (In Persian).
- Ebrahimi Koulaee H, Taleghani DF, Soltani J, Fotouhi K. Development of *Rhizoctonia*-resistant diploid pollinators. Sugar Beet Seed Institute, Karaj. 2015. Final Report. (In Persian).
- Hamze H, Mansouri H, Hassani M, Sadeghzadeh Hemayati S. Evaluation of new O-type lines of sugar beet resistant to root and crown *Rhizoctonia* rot under artificial microplot infestation conditions. *Journal of Sugar Beet*. 2023; 39(2): 125–138. **DOI:** <https://doi.org/10.22092/jsb.2024.365029.1347>.
- Harveson RM, Rush CM. The influence of irrigation frequency and cultivar blends on the severity of multiple root diseases in sugar beets. *Plant Disease*. 2002; 86(8): 901–908. **DOI:** <https://doi.org/10.1094/PDIS.2002.86.8.901>
- Hecker RJ, Ruppel EG. Polyploid and maternal effects on *Rhizoctonia* root rot resistance in sugar beet. *Euphytica*. 1976; 25(2): 419–423. **DOI:** <https://doi.org/10.1007/BF00041552>.
- Kirk WW, Wharton PS, Schafer RL, Tumbalam P, Poindexter S, Guza C, Fogg R, Schlatter T, Stewart J, Hubbell L, Ruppel D. Optimizing fungicide timing for the control of *Rhizoctonia* crown and root rot of sugar beet using soil temperature and plant growth stages. *Plant Disease*. 2008; 92(7): 1091–1098. **DOI:** <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-7-1091>.
- Kluth C, Varrelmann M. Maize genotype susceptibility to *Rhizoctonia solani* and its effect on sugar beet crop rotations. *Crop Protection*. 2010; 29(3): 230–238. **DOI:** <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.12.002>
- Lein JC, Sagstetter CM, Schulte D, Thureau T, Varrelmann M, Saal B, Koch G, Borchardt DC, Jung C. Mapping of *Rhizoctonia* root rot resistance genes in sugar beet using pathogen response-related sequences as molecular markers. *Plant Breeding*. 2008; 127(6): 602–611. **DOI:** <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2008.01525.x>
- Liu Y, Qi A, Khan, M.F.R. Age-dependent resistance to *Rhizoctonia solani* in sugar beet. *Plant Disease*, 2019;103(9): 2322–2329. **DOI:** <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-18-2001-RE>.
- Mahmoudi SB, Ebrahimi Koulaee H, Soltani J. Evaluation of sugar beet germplasm to obtain a source of resistance to *Rhizoctonia* root rot. Sugar Beet Seed Institute, Karaj. 2007. Report No.: 86/1275. (In Persian with English abstract).
- Mahmoudi SB, Norouzi P, Khayamim S, Bazrafshan M, Mansouri H, Ahmadi M, Sadeghzadeh Hemayati S, Aghaezadeh M. Identification of proper maternal parent for producing sugar beet cultivars resistant to

- major soil-borne diseases. *Journal of Sugar Beet*. 2020; 36(1): 1–13. (In Persian with English abstract). **DOI: <https://doi.org/10.22092/jsb.2021.351187.1244>**.
- Mahmoudi SB. Breeding diploid pollinators resistant to rhizomania and Rhizoctonia in sugar beet. Sugar Beet Seed Institute, Karaj. 2014. Report No.: 46349. (In Persian).
- Monteiro F, Frese L, Castro S, Duarte MC, Paulo OS, Loureiro J, Romeiras MM. Genetic and genomic tools to assist sugar beet improvement: The value of the crop wild relatives. *Frontiers in Plant Science*. 2018; 9: 74. **Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00074>**.
- Panella L, Lewellen RT. Broadening the genetic base of sugar beet: Introgression from wild relatives. *Euphytica*. 2007; 154(3): 383–400. **Doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9209-1>**.
- Panella L. Root rots. p. 95–100. In: Biancardi E, Campbell LG, Skaracis GN, de Biaggi M. (Eds). *Genetics and Breeding of Sugar Beet*. Enfield, NH: Science Publishers. 2005.
- Pourrahim R, Najafi H, Farzadfar SH, Ardeh MJ, Sheikholeslami M, Fatemy S, Ghasemi A, Arbabi M. *Sugar Beet Handbook (Plant Protection)*. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ministry of Jihad-e-Agriculture, Iran. 2016. Report No.: 50954. (In Persian).
- Salazar-Ordóñez M, Pérez-Hernández PP, Martín-Lozano JM. Sugar beet for bioethanol production: An approach based on environmental agricultural outputs. *Energy Policy*. 2013; 55: 662–668. **Doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.063>**.
- Shekholeslami M, Jalilian A, Younesi H. Evaluation of sugar beet commercial cultivars resistance to Rhizoctonia root rot in greenhouse and field conditions. *Journal of Sugar Beet*. 2021; 37(1): 1–10. (In Persian with English abstract). **Doi: <https://doi.org/10.22092/jsb.2022.355407.1282>**
- Shekholeslami M. Identification of sugar beet root rot fungi and determination of their distribution in Kermanshah province. Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Kermanshah. 2000. Report No.: 80/443. (In Persian).
- Soltani J. Breeding and developing pollinators tolerant to Rhizoctonia in sugar beet. Sugar Beet Seed Institute, Karaj. 2014. Report No.: 46355. (In Persian).
- Soltani Nezhad S, Mahmoudi SB, Farokhi Nezhad RF. Characterization of sugar beet Rhizoctonia isolates in Iran. *Journal of Sugar Beet*. 2007; 23(2): 135–150. (In Persian with English abstract). **Doi: <https://doi.org/10.22092/jsb.2007.1315>**
- Strausbaugh CA, Gillen AM. Bacteria and yeast associated with sugar beet root rot at harvest in the Intermountain West. *Plant Disease*. 2008; 92(3): 357–363. **DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-3-0357>**.
- Taleghani D, Hosseinpour M, Nemati R, Saremirad A. Study of the possibility of winter sowing of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) early cultivars in Moghan region, Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 2023; 24(4): 319–334.
- Tomaszewska J, Bieliński D, Binczarski M, Berłowska J, Dziugan P, Piotrowski J, Witońska I. Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. *RSC Advances*. 2018; 8(6): 3161–3177. **DOI: <https://doi.org/10.1039/C7RA12782K>**.
- Wigg KS, Goldman IL. Variability in reaction to root and crown rot caused by *Rhizoctonia solani* among table beet cultivars, breeding lines, and plant introductions in controlled environment conditions. *Hort Science*. 2020; 55(9): 1482–1494. **Doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15011-20>**.
- Windels CE, Kuznia RA, Call J. Characterization and pathogenicity of *Thanatephorus cucumeris* from sugar beet in Minnesota. *Plant Disease*. 1997; 81(3): 245–249. **DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.3.245>**.
- Windels CE, Nabben DJ. Characterization and pathogenicity of anastomosis groups of *Rhizoctonia solani* isolated from *Beta vulgaris*. *Phytopathology*. 1989; 79(1): 83–88. **DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-79-83>**.
- Zhao C, Wu XH. First report of sugar beet *Rhizoctonia* crown and root rot caused by *Rhizoctonia solani* AG-2-2 IIIB in Shanxi Province of China. *Plant Disease*. 2014; 98(3): 419. **Doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-13-0717-PDN>**.